

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”  
Факультет електроніки  
Кафедра електронної інженерії

"На правах рукопису"

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

УДК [621.391.814](#)

\_\_\_\_\_ В.І. Тимофєєв

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

зі спеціальності 153 мікро- та наносистемна техніка

на тему Модуль узгодження широкосмугової антени з передавачем

Виконав: студент 6 курсу, групи ДМ-92мп

Тупчий Максим Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник асистент каф. ЕІ, к.т.н. Савін К. Г.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

\_\_\_\_\_ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2020 року

Форма № Н-9.01

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

Кафедра електронної інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 153 мікро- та наносистемна техніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ****Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ В.І. Тимофєєв

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Тупчій Максим Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації \_\_\_\_\_ Модуль узгодження широкосмугової антени з передавачем \_\_\_\_\_Науковий керівник \_\_\_\_\_ Савін Костянтин Георгійович, к. т. н., \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)затверджені наказом по університету від “ 05 ” листопада 2020 року № 3241-с2. Строк подання студентом дисертації 18.12.2020 \_\_\_\_\_3. Об'єкт дослідження \_\_\_\_\_ Модуль узгодження між передавачем і антеною \_\_\_\_\_4. Предмет дослідження \_\_\_\_\_ Розрахунок модуля узгодженості між антеною та передавачем \_\_\_\_\_

5. Перелік питань, які потрібно розробити \_\_\_\_\_

1. Як розраховуються електричні параметри антен? \_\_\_\_\_

2. Порядок проведення розрахунків смугових фільтрів? \_\_\_\_\_

3. Важливість та етапи розрахунку схем узгодження? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу \_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 06.09.2020

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<b>1</b>	<b>Ознайомлення з методикою визначення електричних параметрів антен</b>	<b>1 тиждень</b>	
<b>2</b>	<b>Обрати антену та розрахувати її електричні параметри</b>	<b>1 тиждень</b>	
<b>3</b>	<b>Ознайомитись з методикою розрахунку смугових фільтрів</b>	<b>1 тиждень</b>	
<b>4</b>	<b>Спроекувати смуговий фільтр з потрібними параметрами</b>	<b>1 тиждень</b>	
<b>5</b>	<b>Ознайомитись з методикою розрахунку резистивних схем узгодження антени з передавачем</b>	<b>1 тиждень</b>	
<b>6</b>	<b>Спроекувати схему узгодження по опорам антени та передавача</b>	<b>1 тиждень</b>	
<b>7</b>	<b>Сформулювати висновки щодо виконаної роботи</b>	<b>1 тиждень</b>	

Студент \_\_\_\_\_ **Тупчії М. І.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

**Савін К. Г.**  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 60 с., 5 ч., 28 табл., 22 рис., 14 джерел.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ, СИМЕТРИЧНИЙ ВІБРАТОР, РУПОРНА АНТЕНА, ФІЛЬТР НИЖНІХ ЧАСТОТ, ФІЛЬТР ВЕРХНІХ ЧАСТОТ, СМУГОВИЙ ФІЛЬТР, СХЕМА УЗГОДЖЕННЯ.

Об'єктом розгляду є схема узгодження між передавачем та антеною. Предмет роботи — порядок проведення розрахунків конструктивних складових фідера, що забезпечують передачу сигналу з мінімальними втратами.

Метою роботи є збір та розгляд інформації з метою узагальнення знань та побудови універсальної програми яка допоможе в подальшій роботі.

У першому розділі зібрана інформація відносно методів розрахунку симетричного вібратора та рупорної антени. У другому розділі зібрана інформація відносно методів розрахунку смугових фільтрів Баттерворта та Чебишова. В третьому розділі зібрана інформація відносно схеми узгодження та їх типів. В четвертому розділі наведено результати програми розрахунку з перевіркою їх достовірності.

Результати відповідають поставлених задачах на початку прийняття завдання.

## ABSTRACT

Master dissertation: 60 p., 5 p., 28 tables., 22 figures., 14 references.

MASTER DISSERTATION, SYMMETRIC VIBRATOR, HOLE ANTENNA, LOW FREQUENCY FILTER, UPPER FREQUENCY FILTER, STRIP FILTER, SECTION

The object of consideration is the scheme of coordination between the transmitter and the antenna. The subject of work - the procedure for calculating the structural components of the feeder, providing signal transmission with minimal losses.

The purpose of the work is to collect and review information in order to summarize knowledge and build a universal program that will help in further work.

The first section contains information on the methods of calculating the symmetrical vibrator and horn. The second section contains information on the methods of calculating the bandpass filters of Butterworth and Chebyshev. The third section collects information on the matching scheme and their types. The fourth section presents the results of the calculation program to verify their reliability.

The results correspond to the tasks at the beginning of the task.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ABSTRACT.....	5
ЗМІСТ.....	6
СКРОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	8
ВСТУП .....	9
1 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШИРОКОСМУГОВИХ АНТЕН.....	10
1.1 Основні положення .....	10
1.2 Симетричний вібратор.....	11
1.3 Рупорна антена .....	13
1.4 Висновок до розділу .....	17
2 СМУГОВІ ФІЛЬТРИ.....	18
2.1 Основні теоретичні положення.....	18
2.2 Баттерворта n-го порядку .....	18
2.3 Чебишова n-го порядку.....	21
2.4 Висновок до розділу .....	26
3 СХЕМИ УЗГОДЖЕННЯ .....	27
3.1 Основні положення .....	27
3.2 Елементарна схема Г — типу .....	27
3.3 Схема узгодження Т — типу.....	29
3.4 Схема узгодження П — типу .....	31
3.5 Висновки до розділу .....	32
4 ПРОВЕДЕННЯ ФАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТУ .....	33
4.1 Розрахунок антени.....	33
4.2 Розрахунок фільтра .....	36
4.3 Розрахунок схеми узгодження.....	41
4.4 Висновок до розділу .....	43
5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	44
5.1 Опис ідеї.....	44
5.2 Технологічний аудит .....	46
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	47
5.4 Розробка ринкової стратегії.....	52
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	55
5.6 Висновки .....	57
ВИСНОВКИ .....	59

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	60
--------------------------------	----

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЧХ — амплітудо-частотна характеристика

ДС — діаграма спрямованості

ЕПР — ефективна площа розкриву

ККД — коефіцієнт корисної дії

СФ — смуговий фільтр

ФВЧ — фільтр верхніх частот

ФНЧ — фільтр нижніх частот



## ВСТУП

При передачі інформації на відстань при використанні антени розробник зустрічається з більшістю проблем. Важливий вплив як зовнішніх факторів, характеристик антени, передавача так і внутрішніх проблем, таких як фільтрація та узгодження в фідері. Всі ці проблеми треба враховувати для отримання найкращої передачі.

Вирішення однієї з головних проблем мінімізації втрат є узгодження між вхідним опором та опором фідера. При отриманні відповідності цих опорів у нас не буде втрат при проходженні сигналу.

Головною особливістю цієї роботи є також метод розрахунку, замість використання сторонніх програм було прийнято рішення реалізувати свою програму калькулятор для розрахунку всіх елементів як в цілісній системі так окремо.

Ця робота є результатом виявлення знань та розумінь як в схемотехніці так і методах аналізу для отримання звання магістр.

# 1 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШИРОКОСМУГОВИХ АНТЕН

## 1.1 Основні положення

Широкопasmуговою антеною — називають таку антену котра у широкому діапазоні частот має прийнятні вихідні характеристики. Тобто такі загальні характеристики як ДС, вхідний супротив та поляризаційні властивості майже не змінюються в межах ширини її робочих частот. Порівняно з іншими антенами це дає можливість працювати в більш широкому діапазоні без переналаштування.<sup>[1]</sup> Часто використовують в телебаченні, радіолокації та радіоастрономії, загалом як складовою частиною більш складних антен та для випромінювання в діапазоні метрових, дециметрових та сантиметрових хвиль

Короткосмугові антени дозволяють працювати в діапазоні 10% від основної частоти в той час широкопasmугова антена дозволяє працювати в діапазоні від 10% до 50%, а коефіцієнт перекриття в інтервалі від 4 до 20 і більше( для інших антен близько 1,5-4).

Основні параметри антени про які буде йти розмова:

- потужність випромінювання — це та частина потужності, котра надходить до дальньої зони антени;

- ККД — відношення всієї отриманої потужності до тієї що випромінює антена;

- діюча довжина — це коефіцієнт, котрий несе в собі сенс довжини та поєднує амплітуду напруженості поля в точці, що знаходиться в дальній зоні в напрямку максимуму випромінювання з максимальною напругою на клеммах антени.<sup>[2]</sup>

- ЕПР — це коефіцієнт що поєднує між собою щільність потоку потужності в дальній зоні порівняно з активною потужністю що надходить до антени від генератора.<sup>[2]</sup>

- діапазон робочих частот — це певний інтервал між  $F_{min}$  та  $F_{max}$  в межах якого основні параметри антени знаходяться в допустимому діапазоні роботи, часто відображають в відсотках.

Далі проведемо аналіз розповсюджених типів широкопasmугових антен котрі використовуються в телекомунікаціях та радіолокації.

## 1.2 Симетричний вібратор

Симетричний вібратор — це антена що складається з двох провідників (металевих трубок циліндричної форми) котрі називають плечима вібратора. Плечі вібратора позначають як  $l$ . Живлення до такої антени підводять симетричною двопроводною лінією.

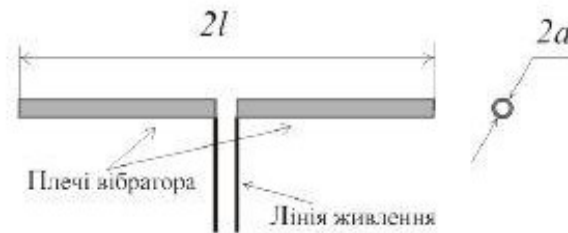


Рисунок 1.1 - Симетричний вібратор<sup>[3]</sup>

На рисунку 1.1 зображено симетричний вібратор з лінією живлення. Плечі вібратора позначені  $l$ , їх діаметр позначено буквою  $a$ .

В загальному випадку, розрахунок хвильового опору симетричного вібратора залежить лише від геометричних параметрів самого вібратора:

$$W_a = \sqrt{L_l / C_l} = 1 / v_0 C_l, \quad (1.1)$$

де  $L_l$  - індуктивність, що припадає на одиницю довжини лінії (розподілена);

$C_l$  — відповідна ємність лінії;

$v_0$  — швидкість світла.

Але при довжині плеча коротшого за довжину хвилі вібратора та виконаного з провідника циліндричної форми формула (1.1) має вигляд:

$$W_a = 120 \cdot (\ln(l/a) - 1), \quad (1.2)$$

Формула 1,2 називається ще формулою Щелкунова та використовується за умовою  $2l \leq \lambda / 2$ .<sup>[3]</sup>

Або за теоремою Кессениха при зворотньому відношенні

$$W_a = \frac{W}{\pi} \cdot (\ln(\lambda/(\pi \cdot a)) - 0,577), \quad (1.3)$$

де  $w$  - хвильовий опір середовища;

$\lambda$  — довжина хвилі;

$\pi$  — константа, що дорівнює 3,14.

Діюча довжина симетричного вібратора знаходиться за формулами

$$l_d = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \operatorname{tg}(k \cdot l/2), \quad (1.4.a)$$

$$l_d = \frac{\lambda}{\pi} \cdot (1 - \cos(k \cdot l)) / \sin(k \cdot l), \quad (1.4.b)$$

де  $k$  — це хвильове число.

Формула (1.4.a) використовують за умови якщо  $l/\lambda \leq 0,35$ , в іншому випадку використовують формулу (1.4.b).

Після того як було розраховано діючу довжину вібратора можна знайти його опір випромінювання по відношенню до струму в точці живлення:

$$R_{\text{жив}} \approx 800 \cdot (l_d/\lambda). \quad (1.5)$$

Тоді можна розрахувати опір випромінювання по відношенню до максимального струму

$$R_{\text{max}} = R_{\text{жив}} \cdot \sin^2(k \cdot l). \quad (1.6)$$

Розрахувавши відповідні значення вихідного опору за формулою (1.6) та хвильовий опір за формулами (1.2) та (1.3) можна знайти значення активного та реактивного вхідного опору.

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{max}}}{\frac{R_{\text{max}}^2}{W_a^2} + \sin^2 k \cdot l}, \quad (1.7)$$

$$X_{\text{вх}} = \frac{\frac{-W_a \cdot \sin 2k \cdot l}{2}}{\frac{R_{\text{max}}^2}{W_a^2} + \sin^2 k \cdot l}. \quad (1.8)$$

Якщо зобразити графічно значення отриманні з формул (1.7) та (1.8) можна побачити значення довжини хвилі на якому весь вхідний опір буде складатись лише з активного опору а реактивна частина відповідно буде дорівнювати нулю. Таку довжину хвилі називають резонансною, знаючи резонансну довжину хвилі можна регулювати довжину плеча і знайти резонансну довжину плеча.<sup>[3-4]</sup>

Укорочення плеча симетричного вібратора необхідне для налаштування в резонанс і розраховується за формулою (1.9):

$$\Delta l = (1 - 1/\xi) \cdot 0,25 \cdot l, \quad (1.9)$$

де  $\xi$  — коефіцієнт укорочення хвилі у вібраторі.  
Або за формулою (1.10):

$$\Delta l \approx 6,8 \cdot \lambda / W_a. \quad (1.10)$$

Відносну ширину смуги пропускання можна знайти за формулою:

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{сер}}} = \frac{4 \cdot R_{\text{max}}}{\pi \cdot W_a} \cdot 100\%. \quad (1.11)$$

Для питання узгодження краще працювати в діапазоні резонансної частоти, оскільки в такому випадку ми можемо нехтувати реактивною складовою вхідного опору, що значно спрощує наступні розрахунки.

### 1.3 Рупорна антена

Хвилеводні випромінювачі, тобто хвилеводи з відкритим випромінюючим кінцем, використовують звичайно як опромінювачі дзеркальних

антен чи як елемент фазових антенних ґрат. Найпростішим прикладом такого випромінювача є відкритий кінець прямокутного хвильоводу (або круглого).<sup>[5]</sup>

Але для покращення ДН, ККД та дальності при відносній потужності та ширококутовості антени потрібно поступово збільшувати стінки хвильоводу розширюючи форму виходу. Так переходимо від стандартної хвильоводної антени до конструкції простої рупорної антени. На рисунку 1.2 зображені основні конструкції рупорних антен.

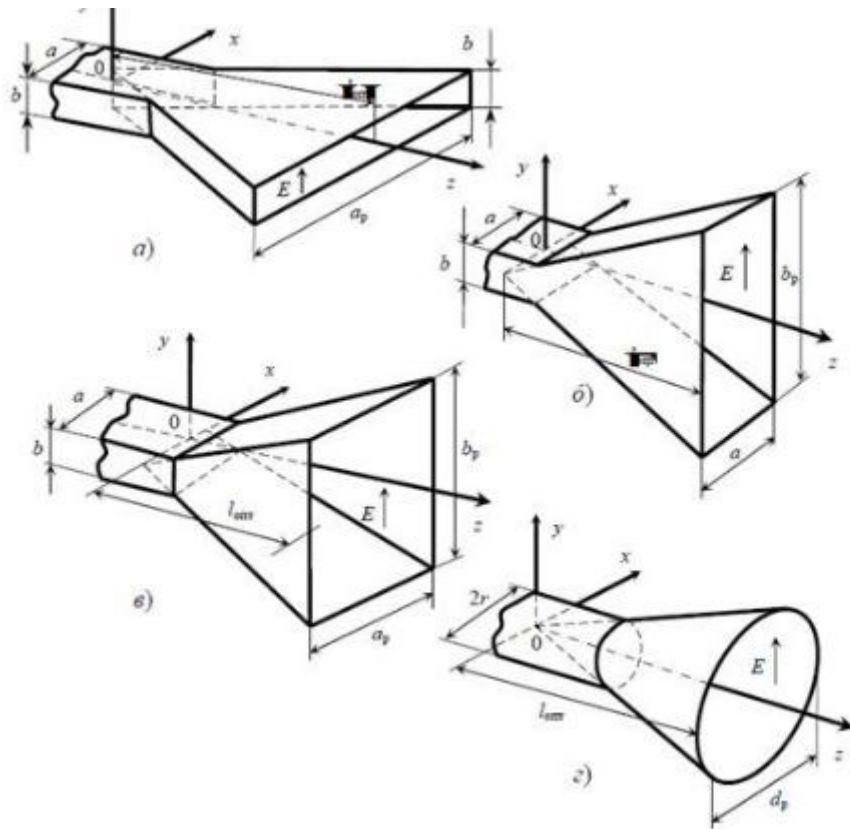


Рисунок 1.2 - Основні конструкції рупорних антен<sup>[6]</sup>  
а, б - секторальні, в - пірамідальна, г- конічна

Більш детально розглянемо пірамідальні антени оскільки вони одночасно розширюються в двох площинах, це значно звужує діаграму спрямованості в цих площинах, при цьому будуть невеликі бокові пелюстки та незначний задній пелюсток.

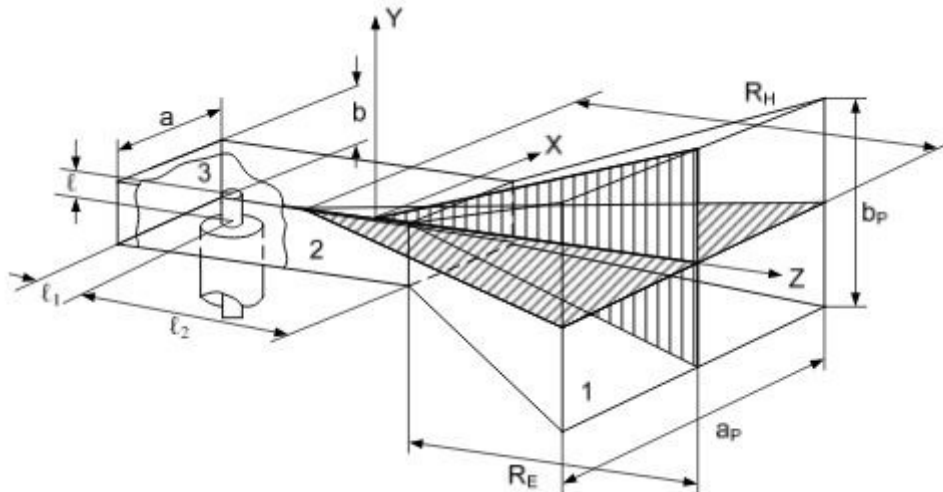


Рисунок 1.3 - Будова конічного рупора <sup>[7]</sup>

З рисунку 1.3 будова рупорної антени складається з трьох частин:

1. Рупор
2. Хвилевід
3. Збуджувач

Якщо ми проводимо живлення від генератора до антени через коаксіальний кабель то тоді збуджувач центральною жилою цього кабелю.

Першочерговою задачею при проектуванні рупорної антени та її розрахунку є вибір геометричних параметрів хвилеводу. Згідно з рисунком 1.3 це відповідає ширині  $a$  та висоті  $b$ . Згідно теорії розповсюдження хвиль в хвилеводі приймаємо що в нашому розповсюджується хвилі типу  $H_{10}$ , тоді ширина ( $a$ ) буде в діапазоні:

$$0,6\lambda \leq a \leq 0,9\lambda. \quad (1.11)$$

Тоді як на висоту ( $b$ ) накладається така умова як  $b < \lambda/2$  при цьому ця довжина може бути рівною половині ширини хвилеводу.

Довжина хвилеводу має задовольняти дві умови:

1. Довжина від задньої стінки (заглушки) до збуджувача ( $l_1$ ) обирається з умови погоджування з фідером. В загальних випадках цю відстань приймають як  $\lambda/4$ .

2. Довжина від збуджувача до розкриття рупора ( $l_2$ ) приймається з умови фільтрації вищих типів хвиль. Наступний, вищий, тип є  $H_{20}$  в якого  $\lambda_{кр} = a$ . Якщо нам потрібно щоб ця хвиля до розкриття рупора затухала приблизно в 100 раз то тоді цю відстань беруть з співвідношення:<sup>[7]</sup>

$$l_2 = \frac{4,6 \cdot \lambda}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{((\lambda/a)^2 - 1)}. \quad (1.12)$$

Амплітуда всіх інших типів хвиль і так буде затухати набагато швидше тому їх в розрахунок не беремо.

Основні параметри ДН в рупорної антени залежить від розкриву рупора. Основні характеристики рупора такі як кути розкриву ( $\alpha_H$ ,  $\alpha_E$ ), ширини та довжини рупора ( $a_p$ ,  $b_p$ ) і відповідну довжину рупора ( $R_H$ ,  $R_E$ ).

$$2 \cdot \alpha_H = 2 \cdot \arctg \left( \frac{a_p}{2 \cdot R_H} \right), \quad (1.13.a)$$

$$2 \cdot \alpha_E = 2 \cdot \arctg \left( \frac{b_p}{2 \cdot R_E} \right), \quad (1.13.b)$$

Згідно з теорії описаної в [7] оптимальні значення довжин рупора знаходять з співвідношення:

$$R_{\text{Нопт}} = \frac{a_p^2}{3 \cdot \lambda}, \quad (1.14)$$

$$R_{\text{Еопт}} = \frac{b_p^2}{2 \cdot \lambda}. \quad (1.15)$$

Саме при таких оптимальних довжинах рупора можна отримати оптимальні значення фазового відхилю на краях рупора

$$\psi_{Hm} = 3 \cdot \pi/4, \quad (1.16)$$

$$\psi_{Em} = \pi/2. \quad (1.17)$$

З'єднання рупора і хвилеводу відбувається за відношенням:

$$R_H/R_E = a_p \cdot (b_p - b)/b_p \cdot (a_p - a). \quad (1.18)$$

Коефіцієнт направленої дії розраховують за формулою:



$$D_1 = \frac{4 \cdot \pi \cdot s \cdot v}{\lambda^2}, \quad (1.19)$$

де  $s$  — площа розкриву рупора;

$v$  — коефіцієнт використання площі (для пірамідального рупора становить 0,49).

#### 1.4 Висновок до розділу

В даному розділі було розглянуто методика та формули для розрахунку параметрів антени. Для більш детального ознайомлення з матеріалом було розглянуто декілька типів антен, з яких було обрано дві які простіше всього знайти на ринку та які будуть дешевші з всього вибору. При наявності матеріальної бази та можливості можна розглядати навіть варіант виробництва тої чи іншої антени. Для подальшого розгляду практичної частини було обрано одну з двох антен описаних вище.

Згідно з теорії обидві антени можуть живитись від коаксіального кабеля, але є деякі нюанси з приводу вхідного опору антен. Якщо говорити про симетричний вібратор то тут все доволі просто. Але в плані рупорної антени фідером для неї може слугувати як коаксіальний кабель так і хвилеводи. В першому випадку при питанні узгодження розраховуються значення висоти центральної жили що буде розміщена в середині хвилеводу на такій висоті та на такій відстані від задньої стінки, що загальний опір буде дорівнювати хвилевому опору кабеля, В іншому ж випадку нам потрібно розглядати опір хвилеводу в залежності від розповсюдження хвилі типу  $H_{10}$ . В подальшому буде розраховано обидва варіанти.

## 2 СМУГОВІ ФІЛЬТРИ

### 2.1 Основні теоретичні положення

Смугові фільтри — це такий тип фільтрів котрий пропускає сигнали лише певного діапазону обмеженого з двох сторін. В порівнянні з ФНЧ чи ФВЧ де відбувається фільтрація до якоїсь певної межі лише з однієї сторони. СФ набагато зручніше використовувати коли присутні жорсткі вимоги до стану сигналу.

Як і всі інші типи фільтрів в залежності від компонентів побудови може бути як активним так і пасивним з всіма їхніми перевагами так і недоліками.

Конструктивно СФ як і наприклад режекторний можна побудувати з двох простіших фільтрів ФНЧ і ФВЧ з розрахованими частотами зрізу так щоб вони пропускали, а в випадку з режекторним фільтром забороняли, певну смугу частот. Слід пам'ятати, що оскільки смуговий фільтр складатиметься з двох послідовно увімкнених фільтрів, загалом це дещо ускладнює роботу над його проектуванням. Також слід зауважити, що всі інші сигнали котрі не входять в даний діапазон смуги пропускання фільтру не зникають повністю. Просто їх амплітуда понизиться в декілька разів по відношенню до сигналів, що проходить.

Однією з основних переваг активних фільтрів порівняно з пасивними, є можливість посилювати сигнал, що буде надходити до виходу схеми. Але слід зауважити, що не існує ідеальних операційних підсилювачів, тому сама схема крім фільтрації буде привносити свої шуми в сигнал, а з урахуванням, що в схемі їх використовується два (в ФНЧ і ФВЧ окремі підсилювачі) шум буде збільшуватись. Оскільки я збираюсь розраховувати смуговий фільтр на діапазон в ГГц було прийнято рішення відмовитись від можливого посилення сигналу в сторону зменшення можливості появи низькочастотних складових, що будуть спотворювати сигнал.

Далі опишу методи розрахунку двох смугових фільтрів, та як і в випадку з антеною буде прийнято рішення відносно того яку саме схему буду використовувати в подальшому.

### 2.2 Баттерворта n-го порядку

Фільтр Баттерворта вперше був описаний в 1930 році Стивеном Баттервортом. Він проектувався як фільтр в якого має бути найбільш плоска частотна характеристика в полосі пропускання. Під поняттям плоскої

характеристики мають таку, яка немає пульсацій в її смузі пропускання, що часто пролазить по напрузі від джерела живлення.

Загалом для правильного проектування смугового фільтра після постановки завдання потрібно розбити його на дві задачі спроектувати фільтр ФНЧ Баттерворта з відповідним порядком, порядок формується шляхом послідовного включення фільтрів першого та другого порядків. І фільтра ФВЧ Баттерворта з своїм порядком. Розглянемо поступово як відбувається їх розрахунок.

Передавальну функцію ФНЧ Баттерворта розраховують з формули (2.1):

$$|H(W)|^2 = 1/(1 + W^{2 \cdot n}), \quad (2.1)$$

де  $W = \omega/\omega_c$  — нормована частота;

$\omega_c$  — частота зрізу фільтра по рівню 0,707;

$n$  — порядок фільтра.

Виходячи з рівняння (2.1) можна вивести основні властивості фільтра:

при  $\omega = 0$ :  $|H(W)|^2 = 1$ ;

при  $\omega = \omega_c$ :  $|H(W)|^2 = 0,7$ ;

Конструктивно є два варіанти реалізації ФНЧ:

- схема П-типу (рисунок 2.1)

- схема Т-типу. (рисунок 2.2)

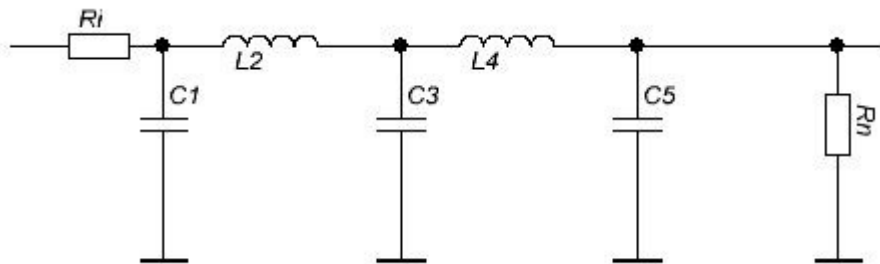


Рисунок 2.1 - Схема ФНЧ 5-го порядку П-типу

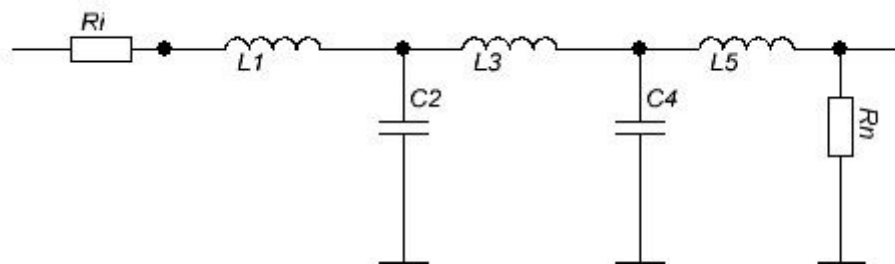


Рисунок 2.2 - Схема ФНЧ 5-го порядку Т-типу

Різниця в схемах на рисунках 2.1 та 2.2 лише в порядку розташування компонентів, порядок в даних схемах показує кількість компонентів  $L$  та  $C$ .  $R_i$  — опір генератора,  $R_n$  — опір на виході фільтра. Намагаються домогтись щоб  $R_i = R_n$  в такому випадку не потрібно враховувати узгодженість входу і виходу схеми по опорам.<sup>[9]</sup>

Для розрахування порядку фільтра можна скористуватись формулою (2.2)

$$n \geq \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\ln(10^{-K_{dbr}/10} - 1)}{\ln q} \right), \quad (2.2)$$

де  $n$  — це порядок фільтра;

$K_{dbr}$  — рівень послаблення;

$q = f_r/f_c$  — нормована частота відносно часто зрізу;

$f_r$  — частота послаблення правого фронту;

$f_c$  — частота зрізу правого фронту.

Після розрахунку порядку можна знайти номінали компонентів схеми. Для  $\Pi$  типу розрахунок нормування номіналів відбувається за формулами (2.3) та (2.4), з врахуванням що (2.3) використовується при не парних значеннях  $m$ , а (2.4) відповідно для парних.

$$C_m = 2 \cdot \sin\left(\frac{(2 \cdot m - 1) \cdot \pi}{2 \cdot n}\right), \quad (2.3)$$

$$L_m = 2 \cdot \sin\left(\frac{(2 \cdot m - 1) \cdot \pi}{2 \cdot n}\right), \quad (2.4)$$

де  $m$  — це номер компонента, що розраховується.

Для схеми  $T$ -типу формули повторюються лише з однією правкою що (2.3) використовують при парних значеннях  $m$ , і відповідно (2.4) при непарних.

Після розрахунку нормованих значень, можна знайти реальні відповідно до формул (2.5)

$$L_{m_{real}} = \frac{L_m \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot f_c}, \quad (2.5.a)$$

$$C_{m_{real}} = \frac{C_m}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot R}. \quad (2.5.б)$$

Після розрахунку ФНЧ потрібно переходить до розробки ФВЧ.

Загалом ФВЧ розраховується за принципом ФНЧ з деякими відмінностями, тому дуже часто використовують розрахунок прототипу ФНЧ, а потім переходять до ФВЧ.

Порядок фільтра розраховується за формулою (2.2) з відмінністю в  $q$ , та  $K_{db\ r}$ , для ФВЧ  $q$  розраховується як відношення  $f_c/f_r$ . Де  $f_c$  — частота зрізу лівого фронту,  $f_r$  — частота послаблення лівого фронту. Замість  $K_{db\ r}$  підставляємо  $K_{db\ l}$  — рівень послаблення по лівому фронту.

Для кращого поєднання двох схем краще притримуватись логіки що якщо ФНЧ був спроектований відносно П-типу, то ФВЧ краще розраховувати як схему Т-типу.

Відмінність між розташуванням компонентів та їх розрахунку при переході від прототипу ФНЧ до ФВЧ в тому що замість ємностей встановлюють індуктивності з оберненим нормованим номіналом і навпаки замість індуктивностей встановлюють конденсатори з оберненим нормованим номіналом (нормування відповідає формулам (2.3) та (2.4)). Далі розраховуються відповідно за формулою (2.5).[10]

Функція передачі розраховується як:

$$|H(W)|^2 = W^{2 \cdot n} / (1 + W^{2 \cdot n}). \quad (2.6)$$

### 2.3 Чебишова n-го порядку

Фільтр Чебишова на відміну від Баттерворта відрізняється тим, що має більш крутий спад АЧХ при однаковому порядку. Плюс в тому що при однаковій кількості компонентів буде краще притиснення частот які близькі до смуги пропускання. Але за це потрібно платити і основна проблема такого фільтру формується в пульсаціях, що буде в смузі пропускання.

Для прикладу розглянемо дві АЧХ для ФНЧ Баттерворта та Чебишева.

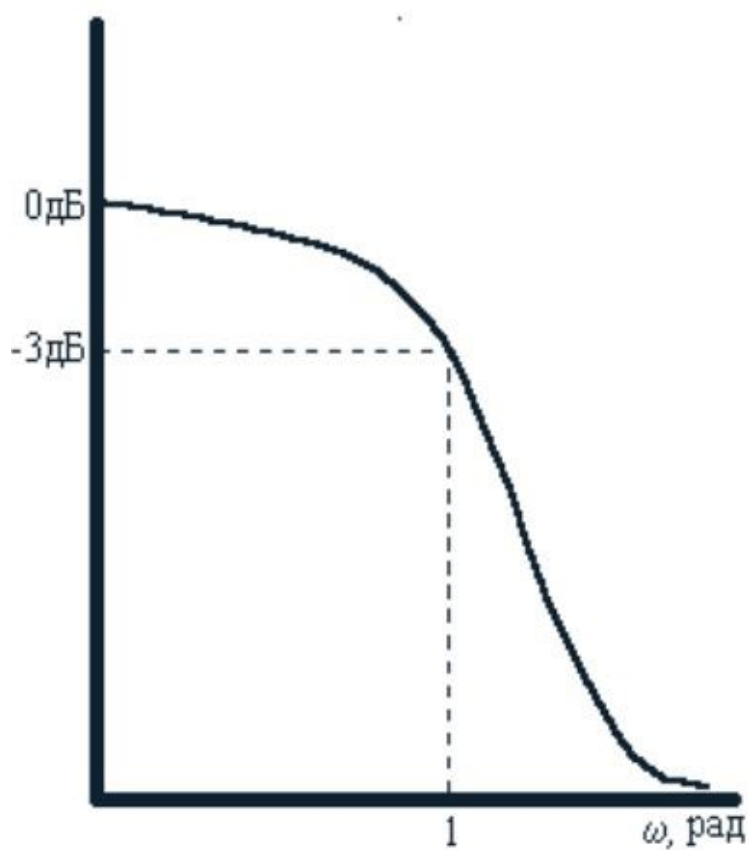


Рисунок 2.3 - АЧХ ФНЧ Баттерворта

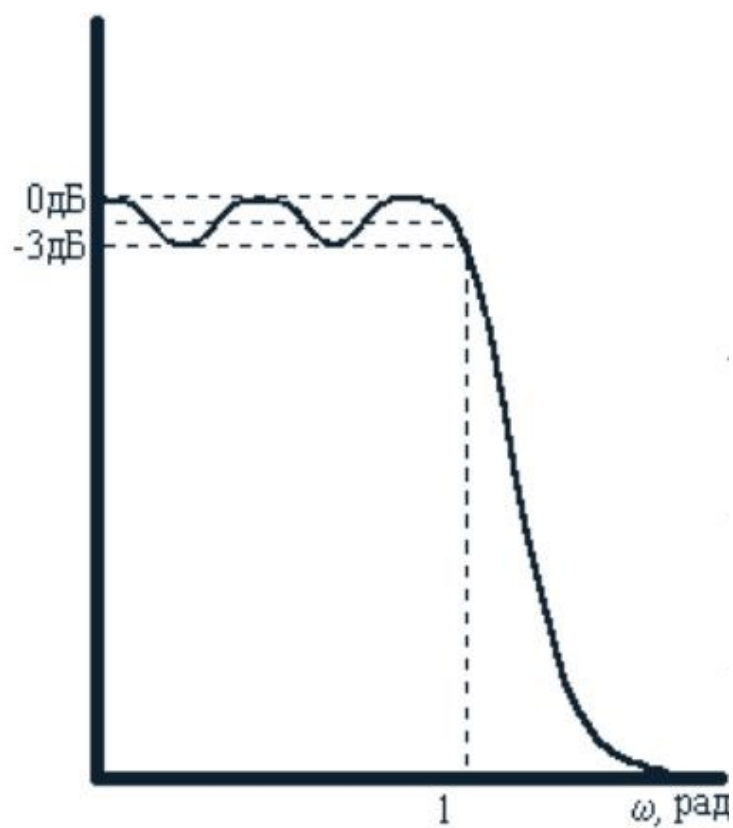


Рисунок 2.4 - АЧХ ФНЧ Чебешева

Як видно з рисунку 2.3 та 2.4 після частоти зрізу, полоса частот є нормована відповідно до частоти зрізу, в фільтрі Чебешева характеристика спадає десь в двічі швидше ніж Баттерворта. Але максимум коливання в смузі пропускання становлять близько 3 дБ, що загалом характерно для придушення на частоті зрізу. Тобто сигнал в такому фільтрі навіть якщо він буде знаходитись в середині смуги пропускання може бути придушений на 3 дБ що не є добрим коли потрібно передавати максимальну потужність сигналу.<sup>[10]</sup>

Для розрахунку СФ Чебишова як і в попередньому випадку формується з послідовного поєднання ФНЧ та ФВЧ з потрібними характеристиками фронтів потрібного фільтра.

Коефіцієнт передачі ФНЧ Чебишова  $n$  — го порядку розраховується за формулою (2.7)

$$K(F) = \frac{1}{\sqrt{(1 + \epsilon^2 \cdot C_n^2(F))}}, \quad (2.7)$$

де  $F = f/f_c$  — нормована частота відносно частоти зрізу;

$f$  — частота;

$f_c$  — частота зрізу;

$n$  — порядок фільтра;

$\epsilon$  — коефіцієнт нерівномірності в межі  $f < f_c$ ;

$C_n$  — поліном Чебишова  $n$ -го порядку.

Якщо розглядати поліном Чебишова в тригонометричному вигляді отримаємо залежність (2.8)

$$C_n(F) = \cos(n \cdot \arccos(F)), \text{ при } F < 1, \quad (2.8)$$

$$C_n(F) = \cosh(n \cdot \operatorname{arch}(F)), \text{ при } F \geq 1,$$

де  $\cosh$  — це прямий косинус гіперболічний

$\operatorname{arch}$  — зворотній косинус гіперболічний.<sup>[11]</sup>

Порядок такого фільтра знаходять за формулою (2.9)

$$n \geq \frac{\operatorname{arch} \sqrt{(10^{a_2/10} - 1)/(10^{a_1/10} - 1)}}{\operatorname{arch}(\omega_1/\omega_c)}, \quad (2.9)$$

де  $a_2$  — затування на частоті  $\omega_1$ ;

$a_1$  — затування на частоті зрізу;

$\omega_1$  - частоті в смузі затування;

$\omega_c$  — частота зрізу.<sup>[12]</sup>

Згідно з експерименту описаному в [11] при однакових початкових умовах реалізації фільтра порядок фільтра Баттерворта в двічі більший ніж порядок фільтра Чебишова. Це означає, що фактична реалізація другого буде простіша оскільки матиме менше LC — ланок.

Пульсації в фільтрі є рівномірними і їх діапазон можна розрахувати з формули (2.10)

$$RW = 1 - \frac{1}{\sqrt{1+\epsilon^2}}, \quad (2.10)$$

де RW- розбіжність пульсаців.

Як видно з (2.10) розбіжність можливо регулювати параметром коефіцієнта нерівномірності.<sup>[12]</sup>

Згідно з [13] для розрахунку компонентів схеми фільтра Чебишова можна притримуватись таких розрахунків. Згідно з величиною  $n$  можна розрахувати значення полюсу згідно формули (2.11), якщо порядок непарний, або (2.12) якщо парний

$$a = \frac{4 \cdot R_l}{(R_l + 1)^2}, \quad (2.11)$$

де  $R_l$  - довільна величина. В випадку (2.12) ця величина підбирається такою щоб була дотримана умова  $a \leq 1$ .

$$a = \frac{4 \cdot R_l}{(R_l + 1)^2} \cdot (1 + \epsilon^2). \quad (2.12)$$

Після розрахунку полюсів можна весь розрахунок поділити на етапи з розрахунком певних змінних які і будуть використовуватись далі. Це виконується для спрощення кінцевих рівнянь.



$$a_i = 2 \cdot \sin(\pi \cdot i / 2 \cdot n), \quad (2.13)$$

$$\beta_i = 2 \cdot \cos(\pi \cdot i / 2 \cdot n), \quad (2.14)$$

де  $i$  — це номер потрібного елемента

$$\gamma = \left( \frac{1}{\epsilon} + \sqrt{\frac{1}{\epsilon^2} + 1} \right)^{1/n}, \quad (2.15)$$

$$\delta = \left( \sqrt{\frac{1-a}{\epsilon^2}} + \sqrt{\frac{1-a}{\epsilon^2} + 1} \right)^{1/n}, \quad (2.16)$$

$$x = \gamma - (1/\gamma), \quad (2.17)$$

$$y = \delta - (1/\delta). \quad (2.18)$$

Провівши відповідні розрахунки за формулами (2.15) — (2.18) можна використати їх для знаходження компонентів схеми.

$$C_{2*m-1} * L_{2*m} = \frac{4*\alpha_{4*m-3}*\alpha_{4*m-1}}{b_{2m-1}(x,y)}, \quad (2.19)$$

$$C_{2*m+1} * L_{2*m} = \frac{4*\alpha_{4*m-1}*\alpha_{4*m+1}}{\beta_{2m}(x,y)}, \quad (2.20)$$

$$C_1 = 2 \cdot \alpha_1 / (x - y), \quad (2.21)$$

де  $m$  — номер компонента який розраховується.

Початок розрахунку відповідно потрібно знайти  $C_1$  за формулою (2.21) далі коли  $m = 1$ , далі ці два значення підставляються в (2.19). За допомогою (2.13) знаходимо відповідні значення  $\alpha_i$ , а за допомогою (2.22) знаходимо  $b_i(x, y)$ . Підставивши все в (2.19) виражаємо та розраховуємо  $L_2$ , а далі за допомогою (2.20) виражаємо та знаходимо  $C_3$ . Далі  $m$  прирівнюють до 2 і повторюються всі розрахунки.

$$b_i(x, y) = x^2 - \beta_{2 \cdot i} \cdot x \cdot y + y^2 + \alpha_{2 \cdot i}^2. \quad (2.22)$$

Всі розрахунки проводяться в межах значення  $m = 1, 2, \dots, (n - 1)/2$ , при  $n$  — не парному, та  $m = 1, 2, \dots, (n/2)$  при  $n$  — парному.<sup>[13]</sup>

Після розрахунку ФНЧ для проектування смугового фільтра потрібно розрахувати ФВЧ. Такі фільтри розраховуються відповідно до прототипу ФНЧ, логіка розрахунку така ж як і у випадку з ФВЧ Баттерворта описана в пункті 2.2. Проводимо розрахунки з врахуванням зміни фронту як для ФНЧ Чебишова. Аналогічно розрахунок компонентів. Після цього проводимо обернену заміну компонентів і їх номіналів.

## 2.4 Висновок до розділу

В даному розділі було розглянуто методи та способи проектування та розрахунку смугових фільтрів Баттерворта та Чебишова. Було наведено всі переваги та недоліки на які потрібно було звернути увагу при виборі схеми фільтра. Розрахунки проводяться таким методом, що можливо спроектувати фільтр з будь-якими початковими параметрами.

В зв'язку з інформацією описаною в пункті 2.1 для подальшої роботи потрібно обрати фільтр який і будемо використовувати. Для того щоб зберегти потужність сигналу було обрано реалізацію фільтра Баттерворта. Розрахунки будуть проводитись для резонансної частоти антени та невеликого діапазону частот відносно резонансної. Тому швидкість спаду АЧХ менше впливатиме на результат ніж коливання в смузі пропускання. Також залишаємо за собою можливість дослідити результат сильних відхилень від резонансної частоти що має в кінцевому результаті збільшити втрати між антеною і фідером.

## 3 СХЕМИ УЗГОДЖЕННЯ

### 3.1 Основні положення

Схема узгодження або трансформатор опору як і каже назва перетворює вхідний опір в відповідний вихідний на певній робочій частоті. Також такі схеми в телекомунікаціях доволі часто використовують в парі з ФНЧ. Це обумовлено конструкцією, а саме LC-ланками, що формують коливальний контур який може слугувати звичайним фільтром. Завдяки цьому можливо при меншій кількості елементів отримати одночасно як СФ так і схему погодження.

Самий простий каскад схеми узгодження називають Г-тип. Зміна положення компонентів, а також поєднання двох каскадів дозволяє сформувати ще дві елементарні схеми погодження такі як Т-тип та П-тип. Далі розглянемо їх більш детально.

### 3.2 Елементарна схема Г — типу

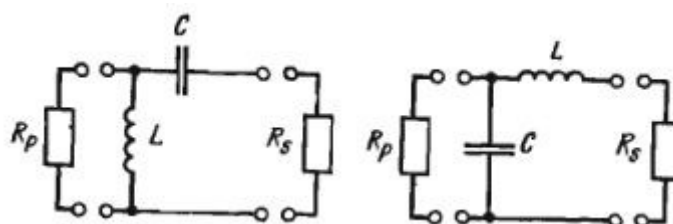


Рисунок 3.1 - Схеми погодження Г — типу

На рисунку 3.1 зображені дві схеми погодження Г — типу з єдиною відмінністю лише в положенні компонентів. Першу схеми з паралельною до виходу індуктивністю використовують в випадку коли нам потрібно забезпечити проходження постійної складової сигналу. Друга схема з паралельною до виходу ємністю використовується для придушення можливих гармонік, що можуть з'явитись при проходженні сигналу.<sup>[14]</sup>

Розрахунок такої ланки яка зображена на рисунку 3.1 починається з розрахунку її добротності  $Q$

$$Q^2 = R_p/R_s - 1, \quad (3.1)$$

де  $R_p$  — вхідний опір;  
 $R_s$  — вихідний опір.

Знаючи добротність схеми за послідовним і паралельним включенням вхідного і вихідного опору можна розрахувати номінали реактивного опору на вході і виході схеми незалежно від постановки компонентів за формулами (3.2) та (3.3)

$$X_s = Q \cdot R_s, \quad (3.2)$$

$$X_p = R_p / Q, \quad (3.3)$$

де  $X_s$  — реактивний опір на виході;

$X_p$  — реактивний опір на вході.

Тепер в залежності від того яка схема обрана можна знайти номінали компонентів наприклад для першої схеми це буде підстановка:

$$X_C = X_s, \quad (3.4)$$

$$X_L = X_p. \quad (3.5)$$

У випадку з другою схемою реактивні опори індуктивності і ємності міняються місцями.

Коли ми виконали потрібну підстановку розрахунок номіналів буде однаковий для двох варіантів.

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (3.6)$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C}, \quad (3.7)$$

де  $f$  — частота;

$\pi$  — константа.

Через те, що добротність в таких схемах залежить лише від двох значень, а саме від вхідного і вихідного опору такі схеми не коректні при малій різниці опорів, оскільки тоді така схема не може запобігти фільтруванню можливих гармонік. В свою чергу дуже великі різниці в опорах призводять збільшення втрат в ланцюгу.<sup>[14]</sup>

Перша проблема вирішується наявністю смугового фільтру на вході, це забезпечить відсутність можливих гармонік вхідного сигналу,

друга проблема вирішується зменшенням відношення опорів за рахунок каскадного підключення декількох ланок.

### 3.3 Схема узгодження Т — типу

Вирішення проблеми високої різниці опорів призводить до поєднання каскадів Г — типу і утворення каскаду Т — типу. Така мінімальна схема складається з двох схем Г — типу.

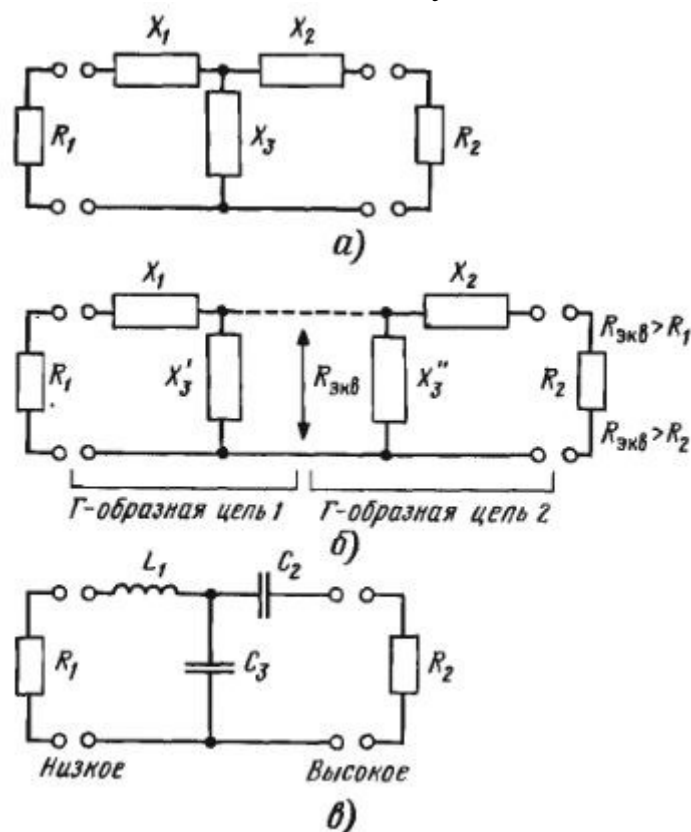


Рисунок 3.2 - Схема узгодження Т — типу

а) еквівалентна схема; б) каскадне утворення з схем Г — типу; в) кінцева реалізація <sup>[14]</sup>

Розрахунок такої схеми узгодження відбувається як двох схем Г — типу.

Для початку потрібно розрахувати еквівалентний опір між двома ланками. Для цього використовують залежність (3.1) але замість вхідного опору підставляємо еквівалентний опір, і виражаємо його. Результат буде таким:

$$R_{\text{екв}} = R_1 \cdot (Q_1^2 + 1), \quad (3.8)$$

де  $R_1$  — вхідний опір схеми;

$Q_1$  — добротність першого каскаду, що задається таким щоб, значення еквівалентного опору було більшим за значення вхідного і вихідного опорів.

Розрахувавши значення еквівалентного опору можна знайти значення  $X_1$  та  $X_3$

$$X'_3 = R_{\text{екв}}/Q_1, \quad (3.9)$$

$$X_1 = R_1 \cdot Q_1. \quad (3.10)$$

Всі відповідні параметри для першого каскаду були розраховані тепер можна переходити до другого каскаду. Розраховуємо добротність другого каскаду з формули (3.1) де вхідним опором буде наш еквівалентний опір. Знайшовши значення добротності для другого каскаду можна знайти з формул (3.9) та (3.10) відповідно значення  $X'_3$  та  $X_2$  підставивши замість  $Q_1, Q_2$ , а замість  $R_1, R_2$ . Фактичне значення  $X_3$  знаходиться за формулою (3.11)

$$X_3 = \frac{X'_3 \cdot X''_3}{(X'_3 + X''_3)}. \quad (3.11)$$

Для отримання фактичних номіналів схеми зображеної на рис (3.8), в достатньо скористуватись формулами (3.12)-(3.14)<sup>[14]</sup>

$$L_1 = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (3.12)$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2}, \quad (3.13)$$

$$C_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_3}. \quad (3.14)$$

### 3.4 Схема узгодження П — типу

В схемі Т — типу еквівалентний опір для двох каскадів був вхідним опором, але якщо ланки Г — типу перевернути так щоб вихідний опір двох ланок був між ними отримаємо схему П — типу.

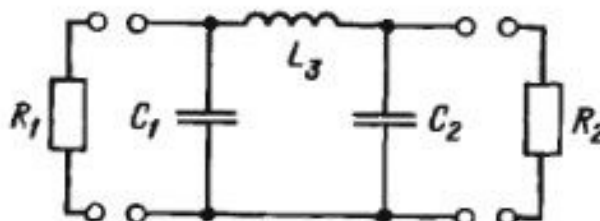


Рисунок 3.3 - Схема узгодження П — типу<sup>[14]</sup>

В даній схемі  $L_3$  можна розбити як два окремих елемента які з'єднані послідовно і розраховуються окремо в двох різних каскадах.

Значення еквівалентного опору між двома каскадами знаходиться за формулою (3.15)

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_1}{Q_1^2 + 1}, \quad (3.15)$$

де  $R_1$  — вхідний опір для схеми П — типу;

$Q_1$  — добротність першої ланки, що підбирається таким щоб еквівалентний опір був меншим за вхідний та вихідний опір схеми.

Значення реактивних опорів для елементів першої ланки знаходяться за (3.16) та (3.17)

$$X'_3 = R_{\text{екв}} \cdot Q_1, \quad (3.16)$$

$$X_1 = R_1 / Q_1. \quad (3.17)$$

Для другої ланки розраховується добротність відносно еквівалентного опору за формулою

$$Q_2^2 = \frac{R_2}{R_{\text{екв}}} - 1, \quad (3.18)$$

де  $R_2$  — вихідний опір схеми П — типу.

По аналогії з (3.16) та (3.17) знаходимо значення реактивного опору для  $X_3$  та  $X_2$ . Відповідне значення  $X_3$  для схеми знаходиться як сума послідовно з'єднаних опорів. Реальні номінали компонентів зображених на рис. (3.15) розраховуються за формулами:

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_1}, \quad (3.19)$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2}, \quad (3.20)$$

$$L_3 = \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f}. \quad (3.21)$$

### 3.5 Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто методи розрахунку та реалізації схем узгодження опорів виходячи з значень цих опорів. Вони використовуються для узгодження антени та фідера щоб при роботі на певній частоті не було втрат при різниці опорів. Виходячи з їх недоліків та переваг далі для надання результатів буде обрано одну з схем узгодження.



## 4 ПРОВЕДЕННЯ ФАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТУ

### 4.1 Розрахунок антени.

Беручи до уваги теоретичний матеріал описаний в першій главі відносно методики розрахунку антени в програмі Qt Creator було створено код який виходячи з геометричних параметрів антен. Для симетричного вібратора та конічного рупора. Далі більш детально розглянемо результати для конічного рупора, на рисунку 4.1 показано зовнішній вигляд програми розрахунку, а в Таблиці 1 показано які параметри були введені.

Рисунок 4.1 - Інтерфейс програми розрахунку параметрів антени

Таблиця 4.1 - Стартові параметри розрахунку

№	Параметр та розмірність	Номінал
1	Ширина хвильоводу, мм	34,85
2	Висота хвильоводу, мм	15,8
3	Площа розкриття, см <sup>2</sup>	700
4	Частота резонансу, ГГц	7,5

Параметри хвильоводу були взяті стандартні, розкриття антени та частота резонансу були підібрані. Результат проведеної обробки зведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати розрахунку

№	Параметри та розмірність	Номінал
1	Довжина хвильоводу від стінки до збуджувача, мм	10
2	Довжина хвильоводу від збуджувача до розкриву, мм	16,5065
3	Ширина рупора в площині Н, см	32,4037
4	Ширина рупора в площині Е, см	21,6025
5	Довжина рупора в площині Н, см	87,5
6	Довжина рупора в площині Е, см	84,2516
7	Кут розкриву в площині Н, градуси	20,9806
8	Кут розкриву в площині Е, градуси	14,6112
9	КСД	269,255

Пункт 1 результатів дозволяє нам згідно теорії вважати вхідним опором антени хвильовий опір коаксіального кабелю. Опір в коаксіальному кабелі розраховується як логарифм відношення двох діаметрів та ділиться на корінь діелектричної проникності матеріалу між ними. Загалом в доступі кабелі з опором 50 — 75 Ом в діапазоні до 10 — 20 ГГц. Але для кращого відображення подальших результатів візьмемо для прикладу значення опору при відношенні коли зовнішній діаметр перевищує внутрішній в 30 раз. Діелектрик у нас буде повітря, в такому випадку оскільки відношення перевищує 2,5 то ми розраховуємо десятковий логарифм. Загальна формула розрахунку буде такою:

$$Z = 138 \cdot \lg \frac{D}{d},$$

де D — зовнішній діаметр коаксіального кабелю;

d — внутрішній діаметр кабелю. Підставивши всі відповідні значення отримаємо значення опору 203 Ом.

Проведемо певний аналіз ДН розробленої антени, на рисунках 4.2 та 4.3 зображено графічно ДН в площинах Н та Е відповідно.

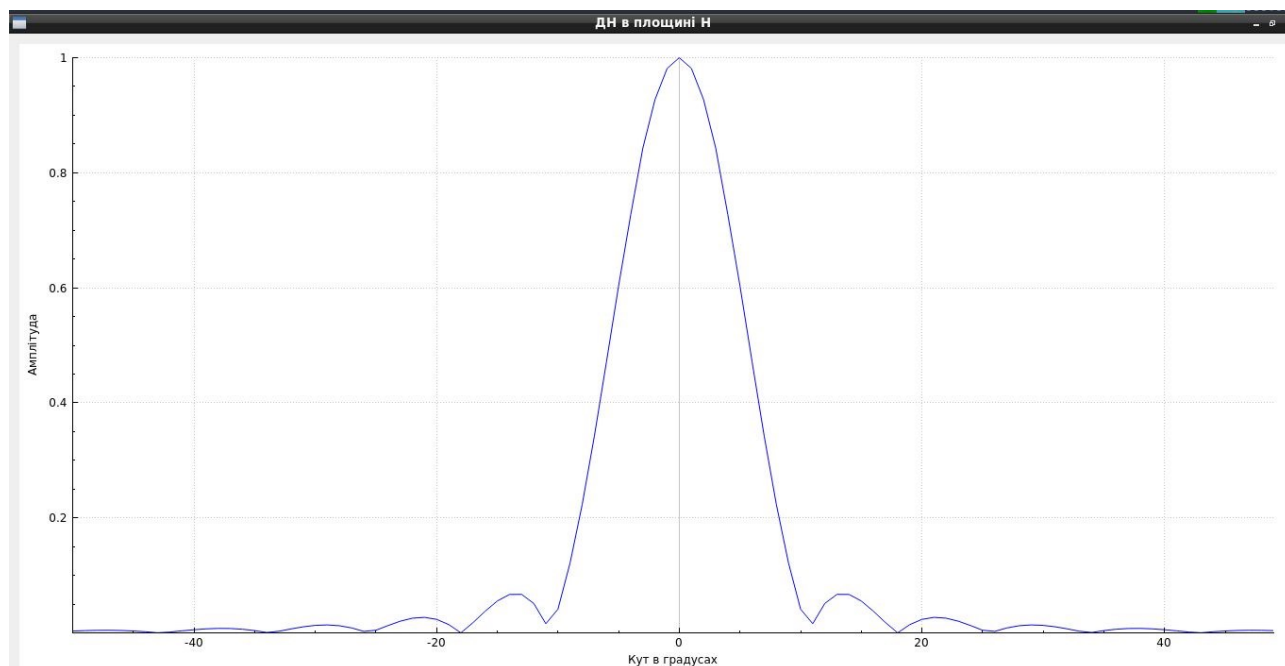


Рисунок 4.2 - ДН рупорної антени в площині Н

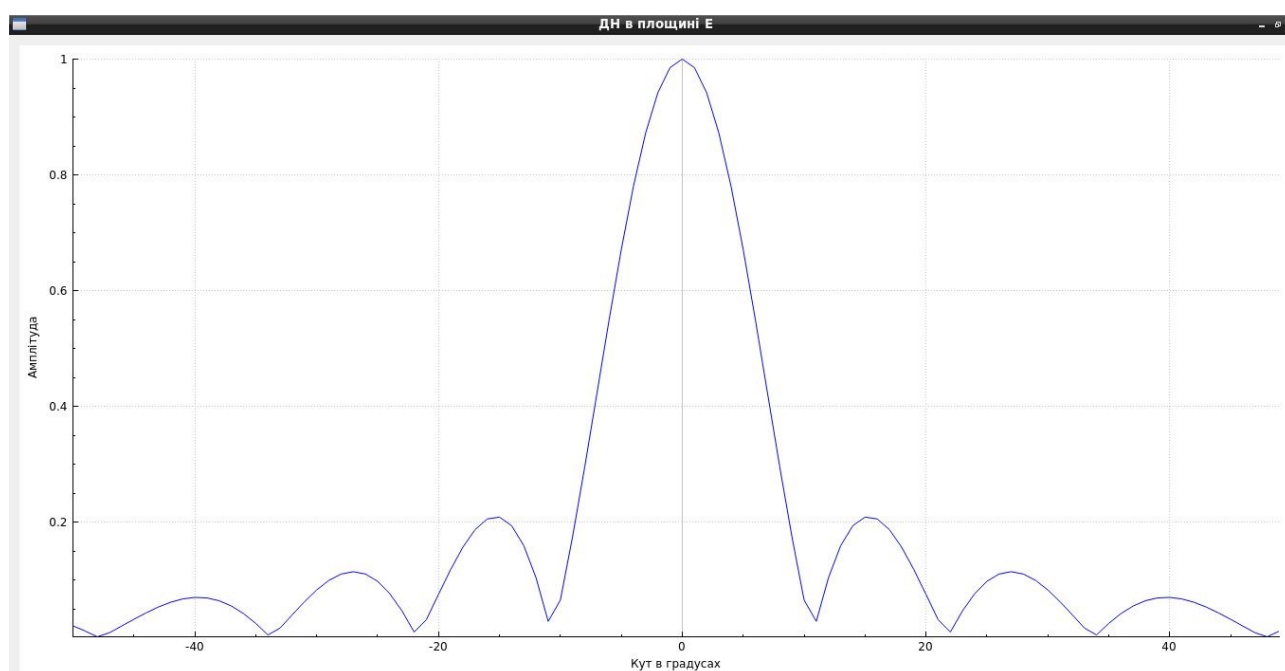


Рисунок 4.3 - ДН рупорної антени в площині Е

Як видно з графіків основний пелюсток в ДН в двох площинах отримує максимальну потужність, Вплив бокових пелюстків буде незначним, їх рівень набагато менше основного пелюстка. Можна зробити висновок, що наша антена розрахована вірно.

## 4.2 Розрахунок фільтра

Для створення фільтра і фільтрації всіх паразитних сигналів скористуємось теоретичним матеріалом описаним в другій главі. Для проведення розрахунків скористаємось фільтром Баттерворта. Як і випадку з антеною була створена програма як продовження попередньої. На рисунку 4.4 зображено інтерфейс програми та в таблиці 3 початкові параметри які вносяться для розрахунку.

Рисунок 4.4 - Інтерфейс програми розрахунку фільтра Баттеворта

Для проведення фактичних розрахунків потрібно задати початкові вимоги до його параметрів, а саме частоти зрізу та опір генератора, в зв'язку з наявністю схеми узгодження в схемі. Ми можемо зробити спрощення що опір навантаження на схемі буде дорівнювати опору генератора котрий задається як стартову значення. Також важливим параметром є рівень та частота затухання фільтра. В залежності від цього буде змінюватись порядок фільтра.

Таблиця 4.3 - Початкові параметри для розрахунку фільтра

№	Параметр та розмірність	Номінал
1	Ліва частота зрізу, ГГц	5
2	Права частота зрізу, ГГц	10
3	Опір генератора, Ом	50

4	Частота затухання праворуч, ГГц	20
5	Рівень затухання праворуч, дБ	-25
6	Частота затухання ліворуч, ГГц	1
7	Рівень затухання ліворуч, дБ	-45

Результат розрахунку СФ Баттеворта:

Розрахунок смугового фільтру:

$1e+10/5e+09 > 1.5$  - смуговий фільтр широкосмуговий

Фільтр нижніх частот Баттерворта П-типу

Порядок фільтра: 5

Номінали компонентів зведено до таблиці 4.4

Таблиця 4.4 - Результати розрахунку для схеми П — типу

№	Компонент	Номінал	Розмірність
1	C	0,19673	пФ
2	L	1,2878	нГн
3	C	0,636942	пФ
4	L	1,28929	нГн
5	C	0,197694	пФ

Порядок фільтра ФВЧ: 4

Схема Т-типу

Номінали компонентів зведено до таблиці 4.5

Таблиця 4.5 - Результати розрахунку для схеми Т — типу

№	Компонент	Номінал	Розмірність
1	C	0,832606	пФ
2	L	0,861991	нГн
3	C	0,344569	пФ
4	L	2,07354	нГн

Для отриманих схем було програмно побудовано АЧХ двох фільтрів

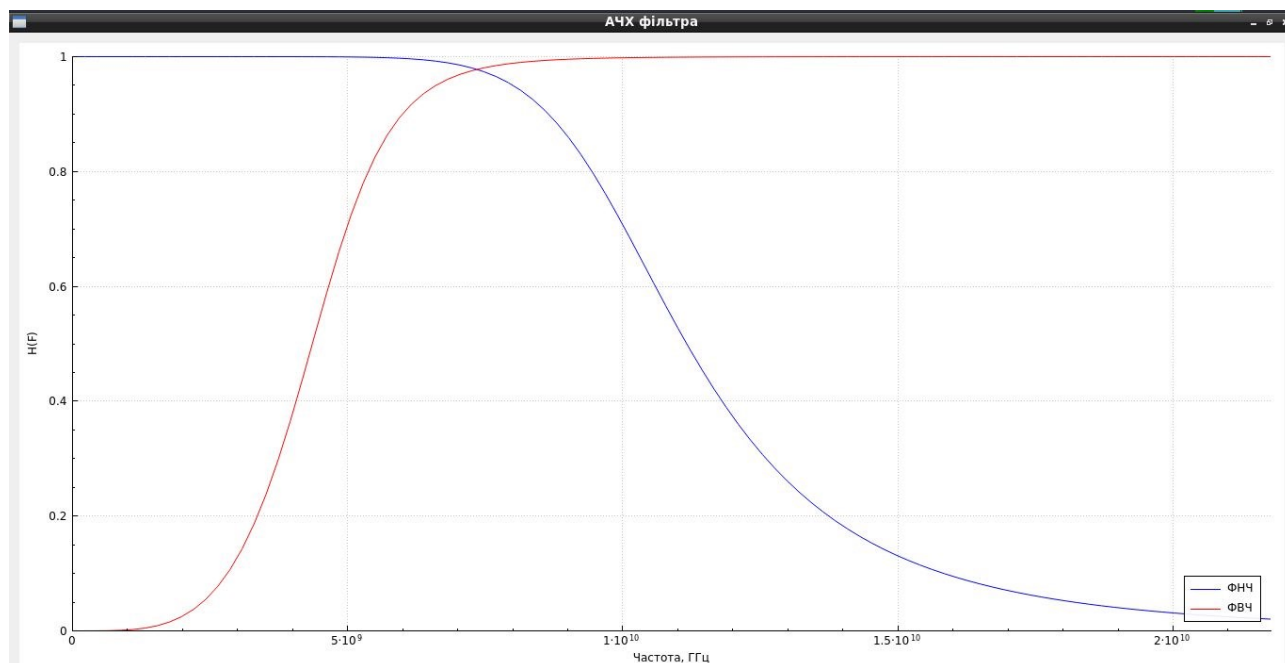


Рисунок 4.5 - АЧХ СФ Баттерворта розрахована за власною програмою

Як можна помітити смуга пропускання фільтра за рівнем -3 дБ, що відповідає на графіку рівню 0,707 відповідає заданим частотним межам, а саме від 5 ГГц до 10 ГГц.

Для перевірки результату скористаємось програмою для моделювання електричних схем Qucs.

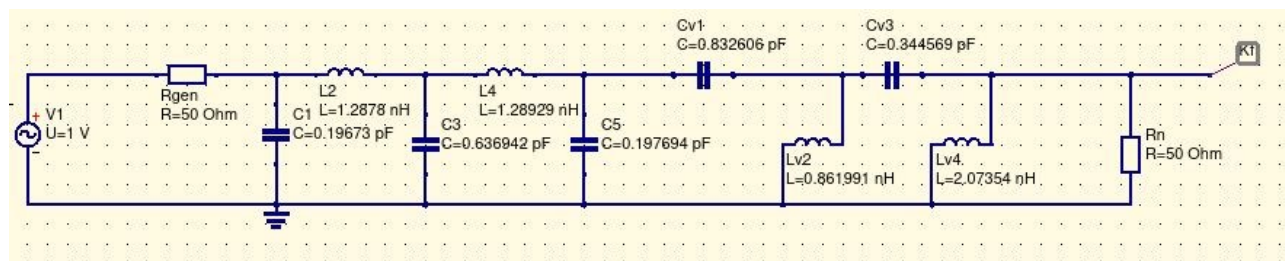


Рисунок 4.6 - Схема електрична розрахованого СФ

На рисунку 4.6 зображена схема розрахованого фільтра, номінали компонентів від  $C_1$  до  $C_5$  відповідають значенням ФНЧ, а від  $Cv_1$  до  $Lv_4$  для ФВЧ. На вхід подається сигнал амплітудою 1 В та відбувається зміна частоти від 0,01 ГГц до 20 ГГц. Опори генератора та навантаження однакові. Згідно проведеної симуляції отримали такі результати.

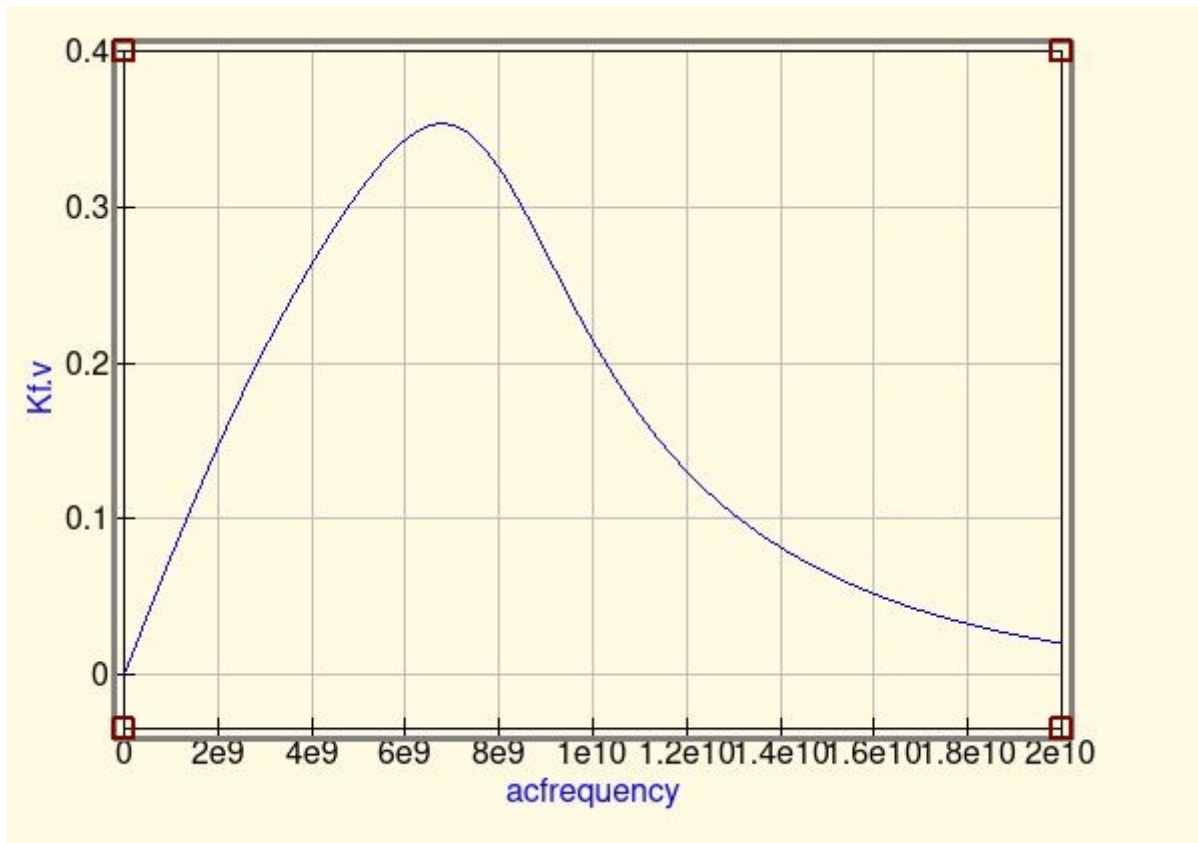


Рисунок 4.7 - Графік перехідної функції СФ Баттерворта

Якщо проводити аналіз отриманих даних, то бачимо спад амплітуди фільтра до 0,35 В з початкових 1 В. Згідно теорії при моделюванні реального фільтра коли опір генератора такий самий як і опір навантаження коефіцієнт передачі буде дорівнювати  $1/2$  або -6 дБ на кожному з фільтрів. Для більш наглядного прикладу рознесемо фільтри як два окремих які працюють одночасно і незалежно.

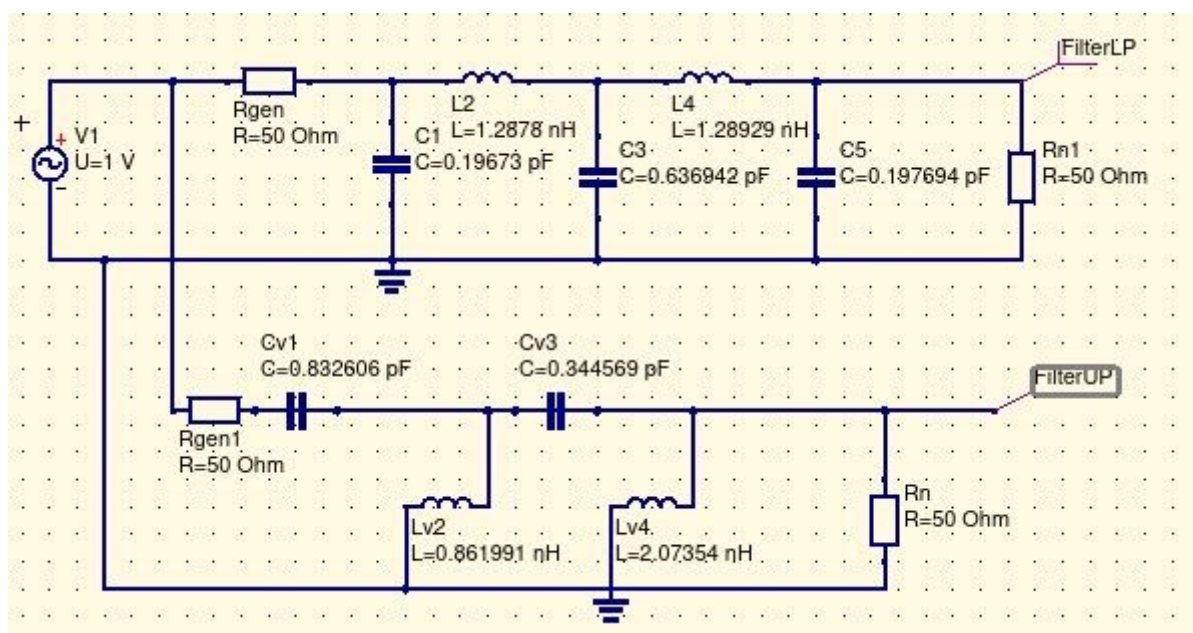


Рисунок 4.8 - Незалежна робота двох фільтрів одночасно

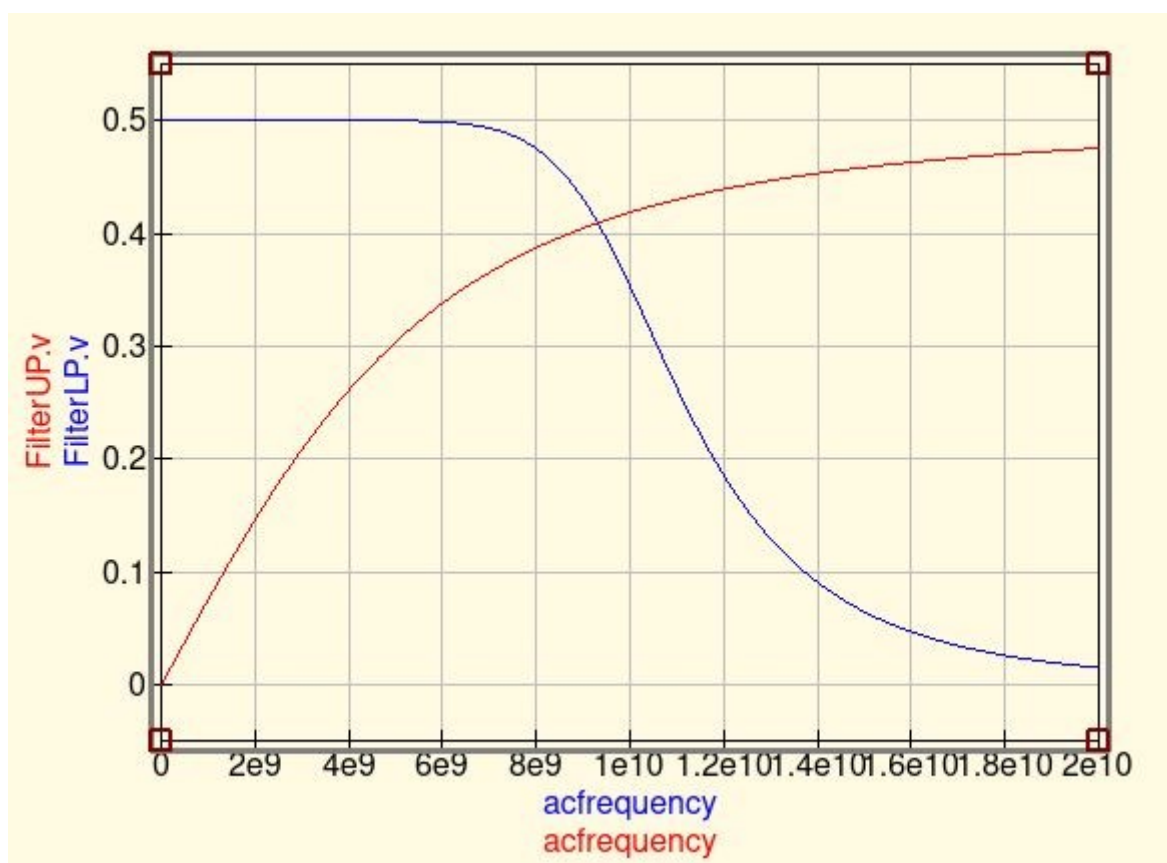


Рисунок 4.9 - Коефіцієнт передачі двох фільтрів.

Як видно на графіку при окремій роботі двох фільтрів амплітудне значення максимуму дорівнює 0,5 В. Якщо працюємо в децибелах то весь графік зміщено на -6 дБ, а частота зрізу буде тоді не на рівні -3 дБ, а на -9 дБ. В випадку з схемою на рисунку 4.8 ця властивість накладається одна



на одну в зв'язку з послідовним включенням двох фільтрів. Отже теорія підтверджує отриманий практичний результат, тому розрахування компонентів вірне.

### 4.3 Розрахунок схеми узгодження

Згідно з теорією описаною в пункті 3 було написано програму для розрахунку компонентів схеми узгодження. Згідно з теорії був проведений додатковий експеримент з можливостями схеми і теорія підтвердила спостереження. Перш за все схема узгодження правильно розраховується і згідно теорії працює коли вхідний опір більше за вихідний, в іншому випадку виникають проблеми. Схема Т — типу працює краще всього при підключенні навпаки коли вихідна напруга більша за вхідну, в зворотньому випадку схема може працювати але номінали компонентів змінюються на порядок. Третя схема працює в двох варіантах підключення і не залежить від величини вхідного чи вихідного опору. В нашому випадку коли опір антени більший за опір фідера, тому нам підходить схема Т — типу та схема П — типу. Оскільки схема П — типу більш універсальна скористуємось нею. Припустимо, що опір передавача становить 50 Ом, а згідно з пунктом 4.2 опір на виході фільтра буде однаковий як і опір генератора на вході і становитиме 50 Ом. Згідно пункту 4.1 опір коаксіального кабелю, а з ним і опір антени становить 203 Ом. Частоту візьмемо таку саму як і при розрахунках антени і фільтра 7.5 ГГц.

Електричні параметри антени	Розрахунок смугового фільтра	Розрахунок схеми узгодження
Схема П - типу		
Параметри		
Вхідний опір, Ом	50	
Вихідний опір, Ом	203	
Робоча частота, ГГц	7.5	
Запуск		
Результат		
Розрахована П - схема узгодження Добротність контура Q1 = 10 Добротність контура Q2 = 20.2252 C1 = 4.24628e-12 Ф C2 = 2.11532e-12 Ф L3 = 3.17685e-10 Гн		

Рисунок 4.10 - Розрахунок схеми узгодження П — типу

Згідно результатів, добротність першого каскаду становить 10, другого 20,2252. Згідно цих значень отримали номінали компонентів які записані в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 - Номінали схеми узгодження П — типу

№	Назва	Номінал	Розмірність
1	C	4,24628	пФ
2	C	2,11532	пФ
3	L	0,317685	нГн

Тепер в програм Qucs спробуємо зібрати схему з відповідними номіналами та проведемо симуляцію щоб отримати чітке уявлення про роботу схеми.

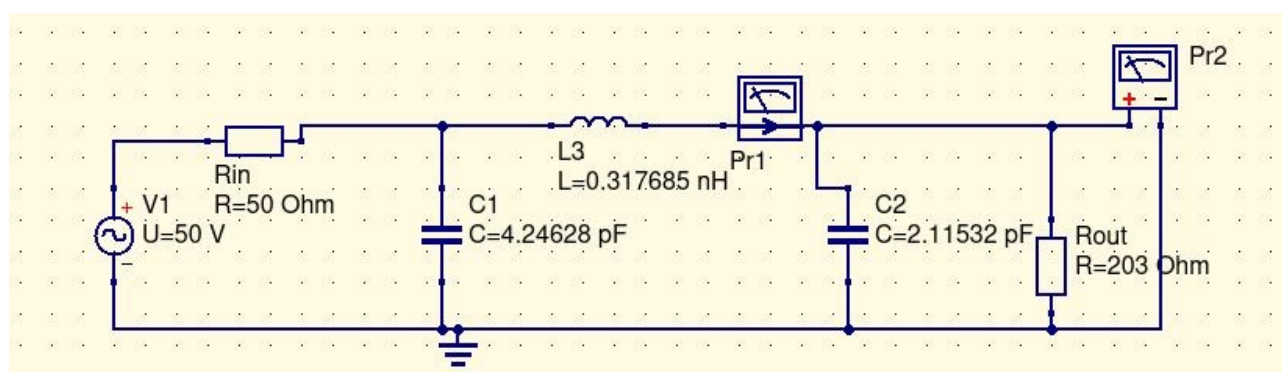


Рисунок 4.11 - Схема узгодження П — типу

По зібраній схемі провели моделювання зміни вихідного опору. Результати зображенні на рисунку 4.12.

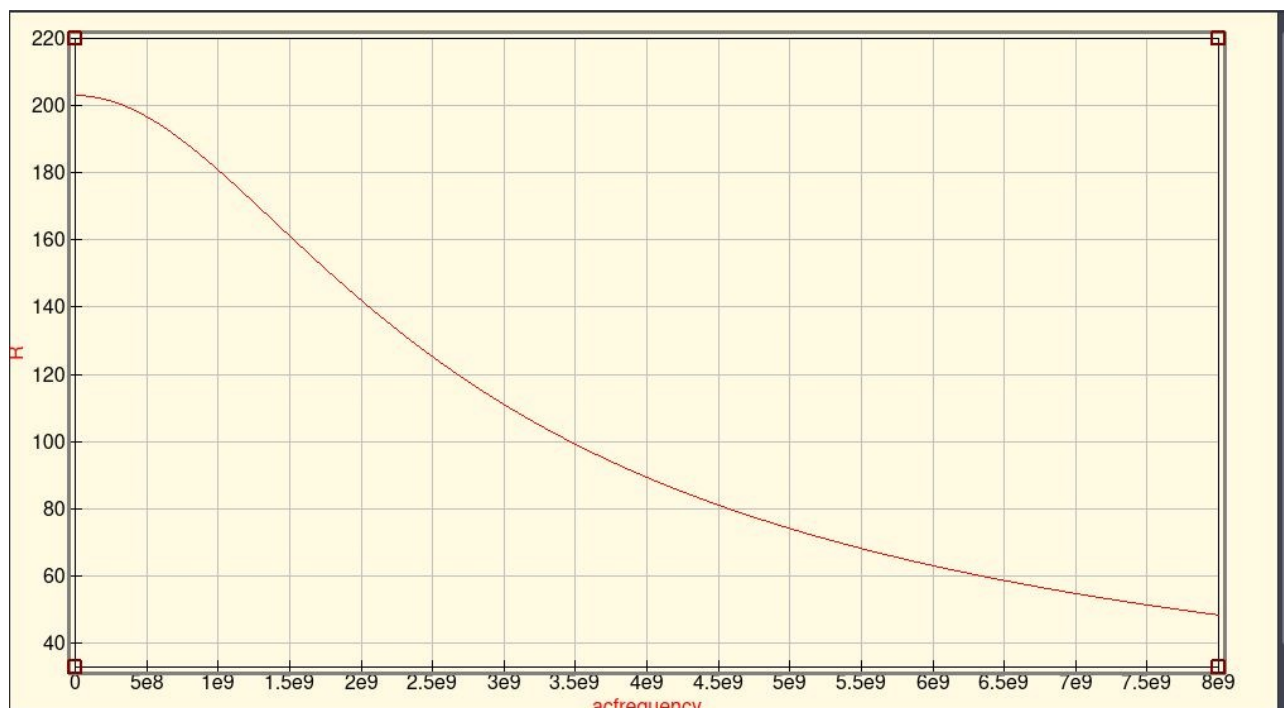


Рисунок 4.12 - Результат моделювання

Як видно з графіку вихідний опір становить 203 Ом. При збільшенні частоти навантаження спадає до 50 Ом на частоті 7,5 ГГц. Отже робота схеми правильна.

#### 4.4 Висновок до розділу

В даному розділі описані фактичні розрахунки та результати роботи. Було прораховано та змодельовано весь узгоджувальний каскад від передавача до антени. Згідно цієї роботи загальна схема проходження сигналу буде відбуватись через блоки перший смуговий фільтр, далі схема узгодження і останній елемент, рупорна антена. В кожному з розроблених елементів залишилися деякі питання. Найбільше хвилює питання фільтра, оскільки функція передачі зберігає сигнал навіть нижче  $1/2$  вхідного, що в реальних умовах погіршує ситуацію в фідері. Але вирішення цієї проблеми не є універсальним, в кожному з можливих варіантів є свої сильні і слабкі сторони, тому робити заключення, який метод розрахунку краще неможливо. Вибір залишається за розробником, що йому більше важливо, чистота сигналу чи його рівень. В схемі узгодження також є недолік, а саме. Чим далі ми відходимо в частотній області тим більша розбіжність в опорних, що збільшує втрати потужності на вході антени. Це обмежує діапазон можливих частот до певного мінімуму в межах якого ми можемо нехтувати значеннями втрат.

## 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1 Опис ідеї

Опис стартап-проекту та його переваги наведено в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка програми яка має допомогти спростити етап розрахунку схемних моделей, а саме універсальний калькулятор для розрахунку номіналів схем.	1. Студенти інженерних спеціальностей	1. Дана програма буде видаватись безкоштовно для студентів
	2. Професії пов'язані з створенням та налагоджуванням телекомунікаційних мереж	2. Для проведення всіх спектрів розрахунків не потрібно користуватись багатьма різними програмами, все зібрано в одній.
	3. Інженерні професії пов'язані з радіолокацією	3. Програма розрахунку буде універсальною і не прив'язана лише до одного аспекту інженерної діяльності.
	4. Радіолюбители та всі хто хотів би цим займатись	4. Доволі простий інтерфейс з зрозумілими питаннями для стартових параметрів.

Знайти конкурентів для такої програми дуже важко. Існує багато онлайн калькуляторів але всі вони направлені на вирішення лише однієї задачі, а збірних варіантів доволі мало.

Таблиця 5.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проектування

№ п/п	Техніко-економічні характеристик и ідеї	Товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Qucs			
1	Економічності	Заробітна плата, електроенергія, реалізація, інтернет, маркетинг	Заробітна плата, електроенергія, реалізація, інтернет, маркетинг		В обох випадках вартість складатиме лише заробітна платня рахунки за електроенергію та інтернет. Можливі додаткові плати за реалізацію та рекламу.	
2	Призначення	Може встановлюватися на будь-яку платформу, результати не залежать від платформи	Може встановлюватися на будь-яку платформу, результати не залежать від платформи		Обидві програми призначенні для інженерів, і не залежні від платформи на яку встановлюється	
3	Надійності	Розрахунок компонентів різних типів аналогових схем	Розрахунок компонентів різних типів схем, проведення моделювання, схемотехнічна побудова аналогових та цифрових схем			Сконцентровано саме на розрахунок компонентів, коли Qucs працює більш в сторону симуляцій, тому більша увага приділяється саме аспектам перехідних процесів

## Продовження таблиці 5.2

4	Технологічні	Можливість постійно вносити додаткові функції, покращувати вже реалізоване	Можливість постійно вносити додаткові функції, покращувати вже реалізоване		Два продукти являються програмами тому шляхи їх покращення однакові	
5	Естетичні	Відсутність	Роки врахування побажань клієнтів та оптимізації	Оскільки програма лише виходить на ринок збуту		

Згідно з можливих техніко-економічних характеристик, порівняно з доступним аналогом, мій продукт має одну перевагу і один недолік, і в 3 аспектах однаковий з ним, але оскільки їх функції не до кінця подібні тому і за якісного конкурента програму вважати важко.

## 5.2 Технологічний аудит

Таблиця 5.3 - Технологічна здійсненність ідеї проектування

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Програма розрахунку номіналів компонентів для більшості відомих типів схем	Реалізовано в програмі Qt на мові програмування C++	Програма для написання графічного інтерфейсу Qt надається безплатно, або під місячну оплату.	Технологія доступна для будь-кого хто має бажання написати програму, перші елементи програми вже реалізовані.

## Продовження таблиці 5.3

2	Програма розрахунку номіналів компонентів для більшості відомих типів схем	Реалізовано в програмі Qt на мові програмування Python	Програма для написання графічного інтерфейсу Qt надається безплатно, або під місячну оплату.	Технологія доступна для будь-кого хто має бажання написати програму
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Варіант №1, оскільки в другому варіанті хоч і існує більше можливостей і вже реалізованих функцій, в деяких навіть простих етапах розробки виникають даремні проблеми.				

## 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Розглядати попит на ринку доволі важко, оскільки аналоги існують в вигляді лише одиничних програм виключно для розрахунку конкретних схем.

Таблиця 5.4 - Аналіз ринкових можливостей

№	Показники стану ринку Спеціалізованого програмного забезпечення	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Відсутні
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Відсутні
3	Динаміка ринку	стагнує
4	Наявність обмежень для входу	Цікавість та корисність
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка на відсутність сторонніх програм які спрямовані на шкоду (власна)
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Інформація відсутня в зв'язку з новизною продукту та відсутністю аналогів.

Таблиця 5.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Економія затрат сил та часу	- Студенти - Працівники інженерних спеціальностей - Радіолюбители	Лише в питанні якості реалізації, та простоти використання	- якість; - точність; - функціональність

Таблиця 5.6 - Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Незацікавленість	Клієнти не будуть зацікавлені в використанні продукції	Продумати можливі додаткові функції що на погляд компанії будуть більше для використання.
2	Недовіра	Клієнти не будуть довіряти програмним розрахункам.	Можливо рекламувати продукт з наведенням прикладу перевірки якості.
3	Взлом та внесення шкоди	Збільшення популярності викличе бажання незаконно здобути її або ж за допомогою неї внести шкоду користувачам	Зосередити увагу до безпеки програми, і постійно її покращувати



Таблиця 5.7 - Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Оригінальність	Програма буде першою в своєму роді	Можливість зіграти на рекламі
2	Цільність	Все що потрібно було спеціалісту шукати самостійно реалізовано в одній програмі	Збільшувати кількість можливостей програми

Таблиця 5.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Чиста конкуренція	Немає обмеженості для входу в бізнес і можливості реалізації його.	Скористатись цією можливістю, оскільки конкуренція залежить лише від якості продукту
2. Рівень конкуренції: національний	Можливості використання програми іншими обмежується лише розумінням мови інтерфейсу.	Розширити мовні можливості програми
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Можливості конкуренції обмежена лише спеціальністю де вона використовується.	Не виходить за межі галузевої специфіки
4. За характером конкурентних переваг цінова	На початку якістю виграти увагу буде важко, але можна привести клієнтів меншими цінами та можливими скидками.	Провести цінову політику а якій надати можливість більшості користуватись програмою і з ними вже покращити якість. Після цього можна змінити цінову політику

Таблиця 5.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Прямах конкуренті в немає, є велика кількість побічних конкуренті в які не можуть на даний момент конкурувати	Будь-який наявний калькулятор може стати конкурентом при розширені можливостей	На даний момент не існує великих сил котрі можуть впливати на ринок	Є можливість мати постійний приток споживачів	Товари-замінники існують зараз по окремих тематиках в великих кількостях.
Висновки	Прямах конкуренті в немає, тому це ідеальний час для розвитку	Потенційні конкуренти можуть виявитись в будь-який момент, але будуть програвати в часі та розвитку	Немає впливу на ринок.	Кожен рік збільшується приток студентів які можуть користуватись програмою за їх рахунок буде відбуватись збір інформації та розвиток продукту	Товари - замінники несуть загрозу лише в випадку малої популярності продукту

Таблиця 5.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Універсальність	Не потрібно постійно шукати потрібний метод розрахунку або спосіб розрахунку

Продовження таблиці 5.10

2	Незалежність від мережі	Програма встановлюється на персональний комп'ютер тому не потрібне постійне з'єднання з мережею.
3	Невеликий об'єм пам'яті	Програма не виконує складні моделювання, тому об'єми потужностей які вони вимагають незначні.

Таблиця 5.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін “Програма розрахунку електричних схем”

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів порівняно з “Програмою розрахунку електричних схем”						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Універсальність	20	+						
2	Незалежність від мережі	10		+					
3	Невеликий об'єм пам'яті	10				+			

Таблиця 5.12 - SWOT — аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Універсальність Незалежність від мережі Невеликий об'єм пам'яті	Слабкі: Інтерфейс Невідомість
Можливості: Враховуючи всі переваги при хорошій рекламі та відсутності обмеження в персональному комп'ютері є значні шанси зібрати свою аудиторію	Загрози: В зв'язку з появою на ринку і відсутності роботи з клієнтом, інтерфейс неможливо створити дружнім для кожного користувача. Лише з збільшенням відомості і клієнтів можливе отримання зворотнього зв'язку і покращення.

Таблиця 5.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Впровадження та поширення реклами	Велика	Близько місяця
2	Надання безкоштовного періоду використання	Велика	Від місяця до шести

#### 5.4 Розробка ринкової стратегії

Таблиця 5.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Студенти, для контролю проведених розрахунків, або робіт з навчальними схемами	Планується щоб це був для них не основний продукт, а допоміжний, який вони приймуть	При зручному використанні очікується постійне зростання попиту в межах як курсу так і факультету, з кожним роком завдань на побудову стає більше, при цьому розрахунок номіналів займає доволі великий об'єм роботи.	На сьогодні клієнти або виконують це самостійно, користуються сторонніми програмами.	При наданні безкоштовного доступу попит очікується великим, тому і проблем з входом сегмент не буде

Продовження таблиці 5.14

2	Інженери, в роботу яких потрапляє задача виконати певну просту схему.	Ціна цього продукту буде не в доступності, а в точності та швидкості.	Професіоналу не буде проблемою розрахувати схему, але при достатній точності він вирішить скоротити затрачений час до мінімуму.	В такому питанні конкуренції немає, бо це не така складна задача.	Роблячи ставку на бажання економії сил та часу, при сприятливих умовах буде просто потрапити в сегмент.
3	Радіолюбителі, люди які займаються інженерією і розробкою в своє задоволення	Для них не буде стояти питання ціни, якщо вона буде в розумних межах, але вони цінують будь яке спрощення роботи.	Оскільки це їх хоббі, вони не можуть витрачати багато часу на розробку.	Конкуренція доволі велика, для економії часу вони максимально користуються допоміжними програмами.	Через те, що вони постійно в пошуках простих моментів, при достатній рекламі, можна доволі просто отримати їх увагу.
Було обрано всі три цільові групи але домінуючими будуть перші та другі, оскільки студенти більше залишають корисної інформації для розробника шляхом зворотнього зв'язку буде проводитись робота над інтерфейсом та доступністю. А правки Інженерів допоможуть в пошуках несправностей, або неточностей.					

Опис кращої базової стратегії розвитку в таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентноспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Дана стратегія зорієнтована на перевагах яких немає в інших аналогів, а за рахунок того що й аналогів майже немає результати будуть ще кращі	Внесемо продукт на ринок за рахунок певного безкоштовного періоду ознайомлення.	За відсутності аналогів, конкурентів не буде.	Стратегія диференціації

Це не так як модернізація, як найкраще використання можливостей існуючої стратегії розвитку.

Таблиця 5.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект “першопроходцем” на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів фбо забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так, але поступово по мірі розширення можливостей.	Ні, основні положення однакові в будь якому випадку, подібності не уникнути, але копіювання не буде.	Стратегія лідера

Стратегія лідера дуже зручна в нашому випадку, оскільки проект буде першопроходцем, а далі в залежності від ситуації для утримання позицій можна скористатись як оборонною або ж наступальною позицією.

Таблиця 5.17 - Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Простота, надійність	Стратегія диференціації	Вихід в позицію лідера і стримування цієї позиції.	Доступність, функціональність, швидкість.

Притримуючи основних принципів описаних в таблиці 5.17 можна отримати лідируючу позицію і отримати ринок.

### 5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком потрібно результувати конкурентоспроможність товару

Таблиця 5.18 - Основні переваги концепції потенціального товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Доступність на старті	Простий інтерфейс для користувача, щоб була можливість початку роботи без детального ознайомлення всіх компонентів.	Етапи старту дуже важливі, навіть якщо вони увійдуть в ринок, їм потрібно буде багато часу щоб наздогнати першого.
2	Універсальність	Не зациклено на вирішенні однієї задачі, а списку задач в одній програмі	Створити і налаштувати роботу розрахунків всіх схем а не лише одної, як в сучасних аналогів.

Розробимо маркетингову модель.

Таблиця 5.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Узагальнює калькулятори розробки схем які зараз існують в одиничних варіантів спеціальних схем, таких як фільтри, схеми узгодження і так далі.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	Якість: Відповідний рівень захисту		
	Пакування відсутнє		
	Марка:Тупчий Максим Програма розрахунку електричних схем		
III. Товар із підкріпленням	До продажу відсутнє		
	Після продажу Комплект, навчальний посібник та керівництво		
Товар в будь якому випадку неможливо зберегти від копіювання, але будуть прописані певні етапи захисту.			

Таблиця 5.20 - Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходу цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	Відсутні	Відсутні	1500 — 20000 мінімум	100 — 500 грн/місяць

Дані цифри являються приблизними і можуть регулюватись по мірі покращення програми. Слова “відсутні” викликані тим, що аналогів немає, або вони не мають ціни.



Таблиця 5.21 - Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Достатньо підтвердження студентства, чи оформлення підписки	Слідкувати за дотриманням правил оформлення доступу до продукту	1-2	Непрямі канали

Остаточним кроком розробки стартап-проекту являється концепція маркетингових комунікацій.

Таблиця 5.22 - Концепція маркетингових комунікаційній

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Часто використовують тематичні сайти для відслідковування корисної інформації	Тематичні сайти, блоги	Опис можливостей товару і приклад реалізованих схем	Привернути увагу до продукту	Для економії часу було залишено розрахунки на програму.

## 5.6 Висновки

Згідно з проведеним аналізом цього стартап-проекту можна зробити цілісний висновок, згідно якого є реальні можливості реалізації проекту. Поки на ринок не вступили ніякі сили можлива повна монополізація. При цьому все залежить від попиту цільових груп, оскільки програма є вузьконаправленою і спрямовану на студентів та фахівців окремої спеціалізації кількість клієнтів є обмеженою. Для впровадження достатньо вне-

сти програму в простори інтернету зробивши її доступною за умов підтвердження підписки або студентства, та після реклами на спеціалізованих сайтах, і доступного пробного періоду є можливість вийти і закріпитись на ринку. Та подальше розширення потенціалу сприятиме продажам.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі було проведено дослідження фідерної частини котра з'єднує передавач з антеною. Вона складається з фільтра та схеми узгодження як перехідних ланок. В даній роботі було проведено повний розрахунок схем з використанням зібраної і проаналізованої інформації. Згідно з отриманих результатів при такому підключенні на частоті резонансу рупорної антени на частоті 7,5 ГГц ми отримаємо ідеальне узгодження в лінії. Але є і свої нюанси, чим далі відходимо від центральної частоти тим більше проблем виникає в схемі. Найбільше це стосується схеми узгодження. Основним елементом який я використовував в цій роботі є програма для розрахунків номіналів написана власноруч для цієї роботи. В подальшому планується і далі використовувати її в своїй роботі як універсальний інструмент.

Потрібно переробити більше графічні можливості, та збільшити варіації схем для розрахунку, при збільшені кількості схем, схема навігації в проекті не підійде. Тому її також потрібно буде покращити. Зробити оптимальні можливості збереження результату та можливі зв'язки між схемами для перенесення параметрів між зв'язаними схемами. Для прикладу після розробки фільтра з відповідними параметрами вони виставляться в відповідні поля для розробки схеми узгодження.

Можливі покращення можна вносити постійно. Оскільки результати відповідають поставленим завданням можна зробити висновок, що робота завершена.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бененсон Л. С. Надширокосмугові антени / Л. С. Бененсон; Мир, Москва, - К., 1964. - 416 с.
2. Пудовкін, А. П. Основи теорії антен : навчальне керівництво / А. П. Пудовкін, Ю. Н. Пасанюк, А. А. Іванков. – Тамбов : 2011. – 92 с.
3. Цалієв Т. А. Антени : навчальний посібник з практичних занять/ Цалієв Т. А. - Вид-во Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2015, - 176 с.
4. Лекції університету.  
Режим доступу до ресурсу:  
<http://semenov.vk.vntu.edu.ua/file/8a14361cd8987871864f70e207999700.pdf>
5. Вельміскін Д.І. Антенні системи. Конспект лекцій. –Одеса, Вид-во 2007. –с. 144
6. <http://www.techniformula.ru/foakoms-1175-1.html>
7. Заїкін І. П. Проектування антенних пристроїв систем зв'язку / І. П. Заїкін, А. В. Тоцький, С. К. Абрамов. – Навч. керівництво. – Харків: Нац. аеро-косм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2007. – 78 с.
8. Соловьянова І. П., Мітельман Ю. Є. Розрахунок і виміри параметрів електромагнітних хвиль направлених систем та на звичайних трасах / Ред. Єрофєєва А. В. / Мир, Москва, - К., 1969. - 213 с.
9. Онлайн калькулятор LC — фільтрів Баттерворта  
Доступ до ресурсу: <https://калькулятор.нехаев.рф/radio-seri/LC-LPF-Batt.html>
10. Дагілев Р. А. Розрахунок цифрових фільтрів та цифрова фільтрація  
Доступ до ресурсу: <http://pts.mi-perm.ru/wp-content/uploads/2019/10/DFilter.pdf>
11. Онлайн калькулятор LC — фільтрів Баттерворта  
Доступ до ресурсу: <https://калькулятор.нехаев.рф/radio-seri/LC-LPF-Cheb.html>
12. Д. Джонсон та інші. Довідник по активним фільтрам./ Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур, Москва, Енергоатомиздат, 1983, - 128 с.
13. Г. Лэм. Аналогові та цифрові фільтри / Г. Лем, Москва, Вид.: Мир, 1982, — 592 с.
14. Фуско В. НВЧ ланцюги. Аналіз і автоматизація проектування: Пер. с англ.// М.: Радіо і зв'язок, 1990. –288 с